冀北山地不同林分枯落物及土壤的水源涵养功能评价

张 伟[1], 杨新兵[1], 张汝松[2], 曹云生[1], 姚 卫星[2]
(1. 河北农业大学 林学院 国家北方山区农业工程技术研究中心, 河北 保定 071000;
2. 河北木兰围场国有林场管理局, 河北 承德 068450)

摘 要: 以冀北山地 6 种典型林分为对象, 对其凋落物及表层土壤的水源涵养功能进行了初步研究。结果表明, 各林分枯落物有效拦蓄量排序为: 山杨林(32.32 t/ hm^2) > 白桦林(28. 59 t/ hm^2) > 蒙古栎林(20.26 t/ hm^2) > 油松蒙古栎混交林(19.49 t/ hm^2) > 华北落叶松林(13. 53 t/ hm^2) > 油松林(13. 23 t/ hm^2) ; 各林分土壤最大持水量排序为: 山杨林(1 709 t/ hm^2) > 油松蒙古栎混交林(1 551 t/ hm^2) > 白桦林(1 549 t/ hm^2) > 油松林(1 547 t/ hm^2) > 华北落叶松林(1 357 t/ hm^2) > 蒙古栎林(1 303 t/ hm^2) ; 各林分土壤渗透性能排序为: 油松蒙古栎混交林> 山杨林> 白桦林> 油松林> 蒙古栎林> 华北落叶松林。采用层次分析法确定指标权重, 对评价指标值进行计算分析, 比较不同林分综合水源涵养功能, 结果认为, 油松蒙古栎混交林的综合水源涵养功能最好, 其次为山杨林、白桦林、蒙古栎林、油松林, 华北落叶松林最差。

关键词: 冀北山地; 水源涵养; 林分类型; 层次分析法
文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2011)03-0208-05 中图分类号: S714. 7

Evaluation on Water Conservation Functions of Litter and Soils Under Different Forests in Mountainous Area of Northern Hebei Province

ZHANG Wei[1], YANG Xin-bing[1], ZHANG Ru-song[2], CAO Yun-sheng[1], YAO Wei-xing[2]
(1. *The Center of National Northern Mountainous Areas of Agricultural Engineering Research, College of Forest, Agricultural University of Hebei Province, Baoding, Hebei* 071000, *China*;
2. *State-owned Forest Bureau of Mulan-Weichang in Hebei Province, Chengde, Hebei* 068450, *China*)

Abstract: Experiments were conducted to study the water conservation functions of litter and surface soil under six forest types in mountainous area of Northern Hebei Province. The results show that in terms of effective interception capacity, the rank of litter layers was poplar forest(32. 32 t/ hm^2) > birch forest(28. 59 t/ hm^2) > *Mongolian oak* forest(20. 26 t/ hm^2) > chinese pine—*Mongolian oak* mixed forest(19. 49 t/ hm^2) > *Larix principis*—*rupprechtii* forest(13. 53 t/ hm^2) > chinese pine forest(13. 23 t/ hm^2) ; in terms of soil maximum water-holding capacity, the order was poplar forest> chinese pine—*Mongolian* oak mixed forest> birch forest> chinese pine forest> *Larix principis*—*rupprechtii* forest> *Mongolian oak* forest; regarding soil infiltration characteristics, the rank was chinese pine—*Mongolian oak* mixed forest> poplar forest> birch forest> chinese pine forest> *Mongolian oak* forest> *Larix principis*—*rupprechtii* forest. The values of evaluation indices were calculated based on weights that were determined using the method of hierarchy analysis. The evaluation results show that chinese pine—*Mongolian oak* mixed forest had the best water conservation function, followed in order by poplar forest, birch forest, *Mongolian oak* forest, chinese pine forest, and *Larix principis*—*rupprechtii* forest had the worst.

Keywords: the mountainous of Northern Hebei Province; water conservation; forest type; analytical hierarchy

森林枯落物和土壤水文效应监测是森林健康监测中非常重要的两项环节。森林枯落物层是森林涵养水源作用的主要作用层[1], 枯落物不仅对森林土壤的发育和改良有重要意义, 而且其结构疏松, 具有良好的透水性和持水能力, 增大了地表粗糙程度, 在降水过程中起着缓冲的作用, 使降水通过枯落物缓慢渗

收稿日期: 2010-08-24 修回日期: 2010-12-06
资助项目: 林业公益性行业科研专项"冀北山区典型森林生态系统健康经营技术研究与示范" (200804022F)
作者简介: 张伟(1985—) , 男(汉族) , 山东省冠县人, 在读硕士, 主要从事森林生态方面研究。E-mail: zhangwei0635@ 126. com。
通信作者: 杨新兵(1978—) , 男(汉族) , 河北省涉县人, 副教授, 主要研究方向为水土保持、生态水文学。E-mail: zhangwei0635@ 126. com。

透到土壤中, 变地表径流为地下径流, 减少表层土壤的流失。土壤水分贮存和水分入渗作为森林植被的主要水文过程和功能, 是反映森林植被保持水土和涵养水源作用的重要水文参数[2-3]。林地类型不同, 其植物生物学特性及林分结构也不同, 探讨不同林地类型和水源涵养功能之间的关系, 可对森林健康的监测、评价及其合理经营提供一定的理论依据。本文选取冀北山地 6 种典型林分类型, 从枯枝落叶层吸持水特性及土壤水分物理特性两个方面对冀北山地几种主要林分的涵养水源功能进行了定量研究分析。

1　研究区概况

研究区位于河北省面积最大的木兰围场国有林场(41°35′—42°06′N, 116°51′—117°45′E), 海拔 750 ~ 1 829 m, 属于中温带向寒温带过渡, 半干旱向半湿润过渡, 大陆性季风型高原山地气候。年平均气温 – 1.4~ 4.7 ℃, 极端最高气温 38.9 ℃, 极端最低气温 – 42.9 ℃, 无霜期 67~ 128 d。

本文研究选择山杨林、白桦林、华北落叶松林、油松林、蒙古栎林、油松蒙古栎混交林 6 种小流域内主要的林分类型, 建立调查样地并进行常规调查, 记录其海拔、坡向、坡度等指标, 各样地基本情况见表 1。

2　研究方法

2.1　枯落物蓄积量及吸持水能力测定

在各典型林分类型标准地内, 视微地形变化情况测设 3 个 0.50 m × 0.50 m 样方, 分别测定枯落物层总厚度、未分解层厚度、半分解层厚度, 并分层取样称鲜重, 在实验室内测定其自然含水率与蓄积量。按照森林土壤定位研究法进行最大持水率、有效拦蓄率、自然含水量等指标的测定。并由此计算最大持水量、有效拦蓄率和有效拦蓄量等[4-5]。

表 **1**　样地基本概况

林分类型	样地面积/ m²	海拔/ m	坡向	坡度/ (°)	树高/ m	胸径/ cm
山杨林	30×30	1 260	N	24	9.40	8.40
白桦林	30×30	1 300	N	17	13.60	14.60
华北落叶松林	30×30	1 300	WN	28	11.40	14.90
油松林	30×30	1 200	W	33	7.00	12.00
蒙古栎林	30×30	1 230	SW	25	7.80	18.00
油松蒙古栎混交林	30×30	1 320	N	31	7.46	9.75

2.2　土壤水分物理性质的测定

在每个标准样地内随机设置 3 个土壤剖面, 用环刀分层(0—10, 10—20, 20—30 cm)取样, 拿回实验室进行土壤容重和土壤总孔隙度的测定, 均采用环刀法; 采用双环法测定土壤的渗透性。采用下式计算出土壤最大持水量、非毛管持水量和毛管持水量作为土壤蓄水性能指标。即:

$$W_t = 10\,000 P_t h \quad (1)$$

$$W_o = 10\,000 P_o h \quad (2)$$

$$W_c = 10\,000 P_c h \quad (3)$$

式中: W_t ——土壤最大持水量(t/hm²); W_o ——土壤非毛管持水量(t/hm²); W_c ——土壤毛管持水量(t/hm²); P_t ——土壤总孔隙度(%); P_o ——土壤非毛管孔隙度(%); P_c ——土壤毛管孔隙度(%); h ——土壤厚度(cm)。

2.3　数据处理方法

在综合分析前人有关研究的基础上, 构建森林涵养水源评价指标体系, 采用层次分析法确定各评价指标的权重值, 然后对评价指标进行加权综合指数计算。

2.3.1　*层次分析法*　层次分析法(AHP)是美国匹兹堡大学教授沙旦(Saaty)于 20 世纪 70 年代中期提出的一种多层次权重分析决策方法。决策者通过把复杂问题分解为若干层次和要素, 在各要素之间进行两两比较, 判断每 2 个指标之间的相对重要性(各因子的重要性采用 1 —9 级标度法确定)并构造矩阵, 并对该矩阵标准化特征向量进行一致性检验, 再转为对这些元素的整体权重进行排序判断, 最后确定各元素权重[6]。

(1) 建立评价体系。本研究从森林的枯落物和土壤两个方面对森林涵养水源功能进行评价, 有枯落物蓄积量、自然持水率、最大持水率、土壤总孔隙度、非毛管孔隙度、平均入渗速率等 6 个评价指标。

(2) 确定各评价指标权重值。利用层次分析法对评价指标体系所列评价指标进行两两比较, 判断每 2 个指标间的相对重要性并构造矩阵。结合 MATLAB 工具软件计算该矩阵标准化特征向量并进行一致性检验, 然后再转为对这些元素的整体权重进行排序判断, 最后确定各元素的权重见表 2。

2.3.2　*加权综合指数计算*　指标在指数化处理时, 应先区分原指标是属于"高优"指标还是"低优"指标。"高优"指标是指数值越大越好, 而"低优"指标或是指数值越小越好[7]。两类指标的指数化, 如式(4):

$y = x/M$(高优指标), $y = M/x$(低优指标) (4)

式中: x ——某指标的观测值; M ——某指标的标准值、平均值、参考值或期望值, 本文 M 为各指标的平均值。

表 2 准则层与指标层各指标的权重

目标层	目标层权重	准则层	准则层权重	指标层	指标层权重	C 层总权重
冀北山区森林涵养水源功能综合评价 A	1	枯落物 B_1	0.25	蓄积量 C_1	0.625 0	0.156 3
				自然持水率 C_2	0.136 5	0.034 1
				最大持水率 C_3	0.238 5	0.059 6
		土壤 B_2	0.75	总孔隙度 C_4	0.297 0	0.222 8
				非毛管孔隙度 C_5	0.163 4	0.122 6
				平均入渗速率 C_6	0.539 6	0.404 7

根据综合指数值大小, 可得到各林分综合效益的排序。值越大综合效益越好, 本文则体现为林分水源涵养功能越强。综合指数值的计算如式(5):

$$I = \sum_{i=1}^{6} w_i y_i \quad (5)$$

式中: w_i ——各指标权重; y_i ——原始数据指数化后的数值。

3 结果与分析

3.1 不同林分枯落物层的吸持水特性

森林枯枝落叶层吸持水能力的大小受枯落物组成、枯落物分解状况、累积状况的影响。枯落物除了防止降雨对土壤表面的击溅, 增加土壤有机质外, 具有很强的吸水能力和透水性, 对涵养水源有一定的作用, 因而枯落物持水量是评价植被水源涵养功能的一个重要指标。

从表 3 可以看出, 由于各林分枯落物蓄积量的显著差异, 其各持水能力指标实测值有着明显差异。两个分解层的白桦林的枯落物蓄积量 21.24 t/hm^2 为最大, 各林分半分解层枯落物储量均大于未分解层。在土层厚度一致的条件下, 林地土壤的蓄水性能取决于土壤孔隙度的大小和组成。以最大持水量来看, 山杨林枯落物(41.08 t/hm^2) 为最好, 且各层值均较大, 其次为白桦林 36.84 t/hm^2, 油松蒙古栎混交林 24.80 t/hm^2, 蒙古栎林 24.44 t/hm^2, 落叶松林 23.14 t/hm^2, 油松林 16.79 t/hm^2 则最差。可见, 不同林分类型林地表面枯落物的最大持水能力不同, 阔叶林地枯落物最大持水量高于针叶林。林分枯落物的蓄积量不同, 有效拦蓄量和有效拦蓄量深的变化规律也不尽相同。未分解层中, 山杨林的有效拦蓄能力最强, 为 14.76 t/hm^2, 相当于拦蓄 1.48 mm 的降雨, 白桦林 1.10 mm 次之, 油松林的有效拦蓄能力最小, 为 0.38 mm; 半分解层的变化规律则为山杨林> 白桦林> 油松蒙古栎混交林> 蒙古栎林> 油松林> 华北落叶松林。综合未分解层和半分解层的变化规律可知, 以有效拦蓄量来看, 山杨林枯落物 32.32 t/hm^2 最好, 其次为白桦林 28.59 t/hm^2, 再次为蒙古栎林 20.26 t/hm^2, 油松蒙古栎混交林 19.49 t/hm^2, 落叶松林13.53 t/hm^2, 油松林为 13.23 t/hm^2 则最差。

表 3 不同林分枯落物持水能力指标

枯落物层	林分类型	蓄积量/(t·hm^{-2})	自然含水率/%	最大持水率/%	最大持水量/(t·hm^{-2})	有效拦蓄率/%	有效拦蓄量/(t·hm^{-2})	有效拦蓄深/mm
未分解层	山杨林	6.23	7.58	287.62	17.92	236.90	14.76	1.48
	白桦林	5.90	7.91	228.36	13.47	186.20	10.98	1.10
	华北落叶松林	6.33	51.71	233.38	14.77	146.66	9.28	0.93
	油松林	2.88	36.06	196.88	5.67	131.28	3.78	0.38
	蒙古栎林	4.65	5.00	246.28	11.45	204.33	9.50	0.95
	油松蒙古栎混交林	4.61	6.67	169.97	7.84	137.81	6.36	0.64
半分解层	山杨林	10.40	20.34	222.66	23.16	168.92	17.56	1.76
	白桦林	15.34	14.74	152.34	23.37	114.75	17.61	1.76
	华北落叶松林	3.94	41.99	212.27	8.36	107.83	4.25	0.43
	油松林	6.48	11.02	171.64	11.12	134.87	9.45	0.95
	蒙古栎林	7.11	3.85	182.61	12.98	151.37	10.76	1.08
	油松蒙古栎混交林	7.17	17.90	236.55	16.96	183.17	13.13	1.31

3.2　不同林分土壤的水源涵养能力

森林土壤的物理性质差异直接影响土壤水分的储蓄方式和蓄存量, 关系到森林涵养水源潜能的强弱[8]。林地土壤对降水的涵养调节功能, 主要体现在林地土壤对水分的静态涵养能力(蓄水能力)和动态调节能力(渗透性能) 上。这两方面功能的强弱直接影响着降水经过森林群落再分配后的时空分布状况, 尤其对地表径流、土壤潜流以及地下水的补给有重要影响。

3.2.1　不同林分土壤蓄水性能　由表 4 可以看出, 对于不同林地类型, 土壤容重均随土壤深度的增加而不断增加, 土壤总孔隙度则不断减小, 土壤非毛管孔隙度随土壤深度的增加无明显变化规律, 非毛管孔隙数量的多少将直接影响林地蓄水能力和调节水分功能的强弱。土壤最大持水量反映土壤贮蓄和调节水分的潜在能力, 进而反映土壤水源涵养的能力。结果表明, 6 种林地类型每 10 cm 厚度土层平均土壤总孔隙变动范围为 43.4% ~ 57.0%, 大小依次为山杨林 > 油松蒙古栎混交林> 白桦林> 油松林> 华北落叶松林> 蒙古栎林。6 种林地类型土壤饱和持水量差别较大, 产生差异的原因是各林地土壤总孔隙度不同所致, 变动范围为 1 303~ 1 709 t/hm^2, 其变化趋势与总孔隙度变化趋势一致, 山杨林 1 709 t/hm^2> 油松蒙古栎混交林 1 551 t/hm^2> 白桦林 1 549 t/hm^2> 油松林 1 547 t/hm^2> 华北落叶松林 1 357 t/hm^2> 蒙古栎林 1 303 t/hm^2。

表 **4**　不同林分的土壤物理性质

林分类型	土壤层次/cm	容重/(g·cm^{-3})	孔隙度/%			持水量/(t·hm^{-2})		
			总孔隙	毛管孔隙	非毛管孔隙	最大持水量	毛管持水量	非毛管持水量
山杨林	0—10	0.75	69.50	51.20	18.30	695	512	183
	10—20	0.77	52.70	47.20	5.50	527	472	55
	20—30	0.95	48.70	44.90	3.80	487	449	38
白桦林	0—10	0.94	53.00	41.10	11.90	530	411	119
	10—20	1.00	52.50	46.00	6.50	525	460	65
	20—30	1.12	49.40	44.20	5.20	494	442	52
华北落叶松林	0—10	1.09	46.20	39.50	6.70	462	395	67
	10—20	1.24	45.80	40.40	5.40	458	404	54
	20—30	1.25	43.70	40.10	3.60	437	401	36
油松林	0—10	0.79	61.70	41.10	20.60	617	411	206
	10—20	1.10	47.60	41.10	6.50	476	411	65
	20—30	1.21	45.40	37.80	7.60	454	378	76
蒙古栎林	0—10	0.95	53.60	38.50	15.10	536	385	151
	10—20	1.23	49.40	36.20	13.20	494	362	132
	20—30	1.25	27.30	21.40	5.90	273	214	59
油松蒙古栎混交林	0—10	0.91	52.50	38.10	14.40	525	381	144
	10—20	1.10	52.00	37.80	14.20	520	378	142
	20—30	1.30	50.60	43.20	7.40	506	432	74

3.2.2　不同林分土壤渗透性能　土壤渗透性也是土壤理水调洪功能极为重要的特征之一, 是将地表径流转化为壤中流、地下径流的能力, 对水土保持及水源涵养功能影响极大[9]。土壤的渗透性, 主要取决于非毛管孔隙的量和质, 它是土壤动态蓄水的有效空间, 其大小与土壤非毛管孔隙度大小有直接关系。林地土壤渗透性与土壤质地、结构、孔隙度、有机质等有关。强度适中的林内降雨条件下, 雨水可以充分渗入土壤中贮存或形成土壤内部径流, 使得林地不易形成地表径流, 从而有效地控制了林地的水土流失。

土壤渗透速率越大, 表示降水后大部分降水很快通过非毛管孔隙(重力作用) 转入地下水, 因此地表径流量和土壤侵蚀量越小, 土壤理水调洪功能越强。由于林分树木生物学及生态学特性的不同, 其对林地土壤渗透性改善作用也不同, 使得不同林分间土壤渗透性能存在着一定差异, 从评价土壤渗透性优劣的 3 个主要指标初渗速率、稳渗速率、平均入渗速率来看, 油松蒙古栎混交林土壤的渗透性能最好, 其次为山杨林, 再次为白桦林、油松林, 蒙古栎林和华北落叶松林最差。相同立地条件下, 混交林土壤的渗透性能较好于阔叶纯林, 针叶林最差(表 5)。

3.3　不同林分水源涵养功能优劣比较

由于各林地的土层厚度基本一致, 所以未采用土层厚度为比较指标, 而以各林分的枯落物蓄积量 C_1、自

然持水率 C_2(低优指标)、最大持水率 C_3、土壤平均总孔隙度 C_4、平均非毛管孔隙度 C_5、平均入渗速率 C_6 为评价指标[10]。采用层次分析法确定各指标权重(表 6)。

表 5 不同林地土壤渗透特性 mm/min

林分类型	初渗速率	稳渗速率	平均渗透率
山杨林	35.3	8.3	13.7
白桦林	36.0	5.4	8.4
华北落叶松林	18.6	1.1	3.4
油松林	28.6	3.3	5.2
蒙古栎林	19.8	1.3	3.5
油松蒙古栎混交林	37.5	9.5	16.6

表 6 不同指标的权重系数

指标名称	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
权重系数	0.156 3	0.034 1	0.059 6	0.222 8	0.122 6	0.404 7

注: 各层对目标层的一致性检验值均小于 0.1, 符合条件。表中各符号所代表的指标名称同表 2。

根据权重值用综合指数法可得出各林分的加权综合指数计算结果(表 7)。从综合指数值可以看出油松蒙古栎混交林的综合水源涵养功能最好, 其次为山杨林、白桦林、蒙古栎林、油松林, 华北落叶松林最差。可见, 针阔混交林和阔叶林地在水源涵养方面比针叶林地表现出更多的优越性。

表 7 不同林分水源涵养功能比较结果

林分类型	山杨林	白桦林	华北落叶松林	油松林	蒙古栎林	油松蒙古栎混交林
综合指数值	1.288 8	1.270 1	0.739 5	0.741 7	1.176 3	1.417 9
排序位次	2	3	6	5	4	1

4 结 论

(1) 枯落物层吸持水性能。山杨林的最大持水量最大, 为 41.08 t/hm^2, 其次为白桦林、油松蒙古栎混交林、蒙古栎林、华北落叶松林, 油松林最小。从有效拦蓄量来看, 山杨林 32.32 t/hm^2 为最大, 白桦林、蒙古栎林次之, 再次为油松蒙古栎混交林、华北落叶松林, 油松林最差, 仅为 13.23 t/hm^2。山杨林的枯落物水源涵养能力最好, 华北落叶松林和油松林较差, 因为针叶树种枯落物含有较多的油脂, 不易分解, 其持水率和有效持水量往往没有阔叶树种的枯落物大, 所以阔叶林的枯落物层吸持水能力强于针叶林。

(2) 土壤蓄持水性能。山杨林持水能力最强, 最大持水量为 1 709 t/hm^2, 然后依次是油松蒙古栎混交林、白桦林、油松林、华北落叶松林, 蒙古栎林的土壤持水能力最差, 为 1 303 t/hm^2。在相同土壤质地条件下, 阔叶林地土壤的最大持水能力要大于针叶林地, 原因是阔叶林枯落物易于分解, 对土壤具有较好的改良作用, 从而导致土壤蓄持水能力不同。

(3) 土壤渗透性能。从初渗速率、稳渗速率、平均入渗速率来看, 油松蒙古栎混交林土壤的渗透性能最好, 其次为山杨林、白桦林、油松林, 再次为蒙古栎林, 华北落叶松林最差。在相同立地条件下, 混交林对土壤理化性质的改善能力比纯林更显著, 使水分更充分地进入土壤或转变为地下径流, 有效控制水土流失。

(4) 从综合水源涵养功能来看, 油松蒙古栎混交林的综合水源涵养功能最好, 其次为山杨林、白桦林、蒙古栎林, 再次为油松林, 华北落叶松林最差。可以看出, 阔叶林地能明显地延长径流过程、消减洪峰、增加枯水流量, 具有较强的水土保持能力, 而针叶林在这些方面远不及阔叶林地。鉴于上述研究结果, 阔叶林具有较高的水源涵养功能, 在研究区内地形复杂, 水土流失较为严重, 建议加强对阔叶林的保护, 同时大力营造阔叶林和混交林, 有效地改造现有的低效针叶林, 通过适度的间伐, 对针叶林进行引阔入针, 以营建高效的针阔混交林, 提高当地森林的生态服务功能。

(5) 本文指标权重的确定采用层次分析法, 避免了因主观因素而造成的误差。运用综合指数法来评价各林分的水源涵养功能, 综合指数法将评价指标作百分标比, 可用于比较不同分布类型数据, 综合考虑指标的变异度, 能定量反映不同评价对象的优劣情况, 结果直观。

根据以上讨论与分析认为, 不同林分的土壤理化性质及其水源涵养功能差异明显, 在相同的立地条件下, 天然次生林和混交林具有更好的维持地力作用和水源涵养功能。为加强冀北山地森林水源涵养功能, 充分发挥其水文生态效益, 应加强对现存阔叶次生林的经营与管理, 构建结构合理的针阔混交林。

[参 考 文 献]

[1] Leer R. Forest hydrology[M]. New York: Columbia University Press, 1980.

[2] 鲍文, 包维楷, 丁德蓉, 等. 岷江上游人工油松林凋落量及其持水特征[J]. 西南农业大学学报, 2004, 26(5): 567-569.

(下转第 238 页)

在粮食生产效率局部低值聚集类型区周围,这类“凸”值点区域粮食生产效率相对于周围区域的粮食生产效率较高,而局部低值离群点主要分布在粮食生产效率局部高值聚集类型区周围,这类“凹”值点区域粮食生产效率相对于周围区域的粮食生产效率较低。

4 结 论

粮食生产效率是区域粮食安全的重要保障证,利用 DEA 模型与 ESDA 技术测算了 1990—2005 年河北省 138 个县粮食生产效率,重点探讨了其空间格局演化特征与规律。研究结果表明,基于 DEA 模型与 ESDA 空间分析技术能够客观、真实地计算粮食生产效率,能够对粮食生产效率的空间格局分布进行空间可视化表达;河北省粮食生产效率存在空间聚集格局,其局部空间聚集格局显著。TFP 局部高值聚集类型区主要由东部的廊坊市和沧州市向中部的石家庄和东北部唐山市等区域扩展;局部低值聚集类型,主要分布在张家口和承德西北部地区,随着相关政策有和经济的发展,该区域近 15 a 来粮食生产效率有所提高,表现为低效率区在缩减。TCP 的局部高值聚集类型区由衡水西南和东北部地区向西扩展到石家庄地和廊坊的部分县,局部低值聚集类型保定的北部山区和张家口与承德的部分县,研究时期内该区域范围在减小。TEC 局部高值聚集类型区域主要分布在河北省的中部地区,局部低值聚集类型区域主要分布变化较大,主要分布在坝上高原与太行山、燕山的山地丘陵区;各年份的局部高值离群点类型与局部低值聚集类型的空间分布不相同且分布较为零散。

[参 考 文 献]

[1] 陈佑启. 我国耕地利用变化及其对粮食生产的影响[J] . 农业工程学报, 2000, 16(6) : 30-32.

[2] 谢红霞, 李锐, 任志远. 基于指数法的陕西省耕地和粮食时空变化分析[J] . 资源科学, 2007, 29(3) : 171-176.

[3] 殷培红, 方修琦, 马玉玲, 等. 21 世纪初中国粮食短缺地区的空间格局和区域差异[J] . 地理科学, 2007, 1(26) : 466-472.

[4] Chang C C. The potential impact of climate change on Taiwan’s agriculture [J] . Agricultural Economics, 2002, 27(2) : 23-29.

[5] 李景刚, 何春阳, 史培军, 等. 近 20 年中国北方 13 省的耕地变化与驱动力[J] . 地理研究, 2004, 59(2) : 274-282.

[6] 庞英, 李树超, 周蕾, 等. 中国粮食生产资源配置效率及其区域差异[J] . 经济地理, 2008, 28(1) : 114-117.

[7] 吴绍洪, 戴尔阜, 靳京. 山东省禹城市粮食生产资源利用效率评价[J] . 资源科学, 2007, 29(1) : 45-56.

[8] 亢霞, 刘秀梅. 我国粮食生产的技术效率分析: 基于随机前沿分析方法[J] . 中国农村观察, 2005, 5(4) : 25-34.

[9] 靳京, 吴绍洪, 戴尔阜. 农业资源利用效率评价方法及其比较[J] . 资源科学, 2005, 27(1) : 21-25.

[10] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J] . European Journal of Operational Research, 1978, 2(9) : 429-444.

[11] 颜鹏飞, 王兵. 技术效率、技术进步与生产率增长: 基于 DEA 的实证分析[J] . 经济研究, 2004, 2(9) : 88-96.

[12] 宣国富, 徐建刚, 赵静. 基于 ESDA 的城市社会空间研究[J] . 地理科学, 2010, 30(1) : 23-29.

[13] 满成福. 指数法的省际生产率拆分分析[D] . 太原: 山西财经大学, 2007.

[14] Feder. Export growth and canadian economic development [J] . Journal of Development Economics, 1992, 38(2) : 133-145.

[15] 孟斌, 王劲峰, 张文忠, 等. 基于空间分析方法的中国区域差异研究[J] . 地理科学, 2005, 8(6) : 88-97.

[16] 张海峰, 白永平, 陈琼, 等. 基于 ESDA-GIS 的青海省区域经济差异研究[J] . 干旱区地理, 2009, 3(32) : 455-461.

(上接第 212 页)

[3] 章家恩, 徐琪. 生态退化研究的基本内容与框架[J] . 水土保持通报, 1997, 17(3) : 46-53.

[4] 方海东, 纪中华, 杨艳鲜, 等. 金沙江干热河谷新银合欢人工林枯落物层持水特性研究[J] . 水土保持学报, 2005, 19(5) : 52-55.

[5] 张振明, 余新晓, 牛健植, 等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J] . 水土保持学报, 2005, 19(3) : 139-143.

[6] 郭军庭, 张志强, 唐丽霞. 晋西黄土区小流域典型植被水文功能优化研究[J] . 水土保持通报, 2010, 30(3) : 37-38.

[7] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统 —实验设计、统计分析及数据挖掘[M] . 北京: 科学出版社, 2007: 1093-1097.

[8] 陈红跃, 刘钱, 康敏明, 等. 东江水源林不同混交组合林地枯落物和土壤持水能力研究[J] . 生态环境, 2006, 15(4) : 796-801.

[9] 吴钦孝, 韩冰, 李秧秧. 黄土丘陵区小流域土壤水分入渗特征研究[J] . 中国水土保持科学, 2004, 2(6) : 1-5.

[10] 黄进, 张金池, 陶宝先. 江宁小流域主要森林类型水源涵养功能研究[J] . 水土保持学报, 2009, 23(1) : 182-186.